还原奶中添加营养复合剂对断奶前后犊牛生长性能、瘤胃发酵及养分表观消化率的影响[1]

李　双[1,2]　毕研亮[1]　成述儒[2]　屠　焰[1]　张卫兵[1]　刁其玉[1*]

（1.中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点实验室，奶牛营养学北京市重点实验室，北京 100081；2.甘肃农业大学动物科学技术学院，兰州 730070）

摘　要：本试验旨在研究还原奶中添加营养复合剂对断奶前后犊牛生长性能、瘤胃发酵及养分表观消化率的影响。选择体重为（39.99±4.65） kg、健康的新生荷斯坦犊牛 28 头，采用单因素完全随机试验设计分成 2 组，每组 14 头，公母各 1/2。试验分 2 个阶段进行，第 1 阶段（出生~70 日龄），对照（CON）组犊牛饲喂纯奶粉兑成的奶液（即还原奶）和开食料；营养复合剂（NC）组犊牛饲喂纯奶粉+营养复合剂兑成的奶液(营养复合剂替代 CON 组纯奶粉添加量的 10%)和开食料；第 2 阶段（71~98 日龄），2 组犊牛进行断奶过渡 1 周后停止饲喂奶液，至试验结束仅饲喂开食料。试验期 98 d。结果表明：1）与 CON 组犊牛相比，营养复合剂显著提高了 NC 组犊牛全期的平均日增重、干物质采食量和开食料采食量干物质采食量以及 98 日龄体重（P<0.05）。2）犊牛 98 日龄时，NC 组 pH 和乙酸/丙酸均显著低于 CON 组（P<0.05）。3）营养复合剂对断奶前后犊牛各营养物质的表观消化率均无显著影响（P>0.05）。综上，在还原奶中添加营养复合剂可增加犊牛采食量，提高犊牛增重，改善犊牛断奶后瘤胃发酵环境，使犊牛更快适应断奶后固体饲粮的饲喂方式。

关键词：犊牛；还原奶；营养复合剂；瘤胃发酵；营养物质消化

中图分类号：S823　　　　　　　文献标识码：　　　　　　　　　　　　文章编号：

近几年，随着我国奶牛养殖规模化、集约化的迅猛发展，奶牛单产量大幅提升，然而在产奶旺季，往往造成鲜奶过剩，牧场为避免倒奶造成资源浪费，将过剩鲜奶喷粉储存备用，但实际中这些奶粉不能够上市。牧场多选用奶粉勾兑为还原奶进行犊牛的早期培育，一方面利用了奶粉资源；另一方面，利用优质的奶制品培育后备牛。鲜牛奶在热处理加工过程中经

收稿日期：2018-03-20

基金项目：“中央级公益性科研院所基本科研业务费专项（2016）资助；中国农业科学院科技创新工程协同创新任务-“奶牛绿色养殖技术集成创新”（CAAS-XTCX2016011-01）；主持中国博士后基金面上资助（一等）（2016M590163）

作者简介：李　双（1991-），男，河北保定人，硕士研究生，从事动物遗传育种与繁殖研究。E-mail： lishuangnky@163.com

*通信作者：刁其玉，研究员，博士生导师，E-mail： diaoqiyu@caas.cn

高温高压环境喷雾干燥，造成大量营养物质缺失，特别是氨基酸、维生素等容易损失，造成营养物质的不平衡[1-2]，严重影响犊牛生产潜力的发挥和成年后的产奶性能，因此亟待采用相关技术措施解决这些实际问题，为犊牛的培育提供技术指导。

应用代乳粉培育技术使犊牛早期断奶是奶牛养殖发达国家培育犊牛的成功经验，适宜的代乳粉饲喂水平可有效促进犊牛消化器官的发育，有利于犊牛及早进食常规饲粮，从而促进犊牛生长发育和机体健康[3-4]。营养复合剂是一种添加于全脂奶粉中的复合营养物质，能满足犊牛快速生长过程中对氨基酸、维生素和消化酶等营养物质的需求，改善全脂奶粉中因营养破坏、损失及某些营养物质不足对犊牛生长造成的不良影响，从而促进犊牛快速健康生长。

本试验通过在还原奶中补饲营养复合剂，研究犊牛断奶前后生长性能、瘤胃发酵参数和养分表观消化率的变化情况，以确定营养复合剂对犊牛生长发育及健康状况的影响，为营养复合剂在犊牛培育中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物与试验时间

试验选取刚出生体重为（39.99±4.65） kg、健康的 28 头荷斯坦犊牛，公母各 1/2。试验于 2017 年 8 月至 2017 年 11 月在河北省张家口市现代牧业察北牧场开展。

1.2 试验饲粮

试验用营养复合剂由北京精准动物营养研究中心配制，其组成成分（重量百分比）为：全脂奶粉10%~30％、大豆粉5%~25％、矿物质复合剂0.2%~4％、维生素复合剂0.2%~3.6％、氨基酸复合剂5.2%~15％、微生态酶制剂复合物0.4%~1.8％、柠檬酸0.3%~0.95％、富马酸0.3%~0.95％、乳酸钙1%~4％、磷酸二氢钙1%~3％、牛磺酸0.01%~0.03％、肉毒碱0.01%~0.1％、包膜VC 0.1％~0.5％、食盐0.2%~1.8％；每千克所述微生态酶制剂复合物包括：有效活菌数为200亿/g的粪肠球菌100~300 g，有效活菌数为3 000亿/g的地衣芽孢杆菌13~20 g以及80 U/g蛋白酶200~400 g；每千克所述氨基酸复合剂包括：赖氨酸150 400 g，蛋氨酸60 710 g，苏氨酸120 570 g，色氨酸60 340g。纯奶粉及犊牛开食料为现代牧业察北牧场饲喂犊牛专用料。纯奶粉、营养复合剂和开食料营养水平见表1。

表 1 纯奶粉、营养复合剂和开食料营养水平（风干基础）

Table 1 Nutrient levels of milk powder, nutritional compound and starter (air-dry basis) %

营养水平 Nutrient levels	纯奶粉 Milk powder	营养复合剂 Nutritional compound	开食料 Starter
总能 GE/(MJ/kg)	23.56	16.17	17.49
干物质 DM	96.76	95.87	93.36
粗蛋白质 CP	24.92	17.28	18.02
粗脂肪 EE	11.05	0.76	3.43
粗灰分 Ash	5.43	6.42	5.03
钙 Ca	1.01	1.76	0.73
磷 P	0.69	0.48	0.42

营养水平均为实测值。Nutrient levels were all measured values.

1.3 试验设计与饲养管理

采用单因素完全随机试验设计，将 28 头荷斯坦犊牛分为 2 组，每组 14 头，公母各 1/2，2 组犊牛初始体重经方差分析差异不显著（P>0.05）。试验分 2 个阶段进行，第 1 阶段（出生~70 日龄），对照（CON）组犊牛饲喂纯奶粉兑成的奶液（即还原奶）和开食料；营养复合剂（NC）组犊牛饲喂纯奶粉+营养复合剂兑成的奶液和开食料；第 2 阶段（71~98 日龄），2 组犊牛进行断奶过渡 1 周后停止饲喂奶液，至试验结束仅饲喂开食料。试验期 98 d。

试验犊牛出生后空腹称重，佩戴耳标。犊牛在出生后 1 h 内饲喂 4 L 初乳，12 h 后再饲喂 2 L 初乳，之后将犊牛由产房转移至犊牛岛单栏饲养，每头犊牛占地约 3 m^2，保持圈舍卫生干净。饲喂过程中认真执行“四定”原则，即“定时、定量、定温、定人”。第 1 周（1~7 日龄）各组犊牛饲喂鲜牛奶，8~13 日龄是奶液过渡期，过渡期内饲喂各组相应奶液与鲜牛奶的比例逐渐由 1：2 增加到 2：1，使犊牛逐步适应，至犊牛 14 日龄时全部饲喂各组相应奶液。犊牛自出生后第 2 天每天饲喂奶液 2 次（06：30、16：30），每次饲喂量为 4 L，犊牛自 14 日龄供给开食料和 39 ℃左右温水，自由采食和饮水，并记录开食料每日采食量。

还原奶和营养复合剂的制备和饲喂方法：1）还原奶：纯奶粉干粉与 45 ℃左右巴氏杀菌温水按重量体积比 1：7.5 配制，饲喂给犊牛时温度在 39 ℃左右；2）纯奶粉+营养复合剂奶液：营养复合剂替代 CON 组纯奶粉添加量的 10%配置成复合奶粉，复合奶粉与 45 ℃左右巴氏杀菌温水按重量体积比 1：7.5 配制，饲喂给犊牛时温度在 39 ℃左右。

1.4 测定指标和分析方法

1.4.1 纯奶粉、营养复合剂和开食料营养水平

每隔 14 d 采集纯奶粉、营养复合剂和开食料样品，4 ℃保存。试验结束后带回实验室，测定样品中干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分、钙、磷及总能含量[5]。

1.4.2 犊牛生长性能

称量犊牛出生重及犊牛 70 和 98 日龄晨饲前空腹重，计算平均日增重（ADG）。

每天记录犊牛纯奶粉、营养复合剂和开食料摄入量，计算犊牛干物质采食量（DMI）、开食料干物质采食量和饲料转化效率（G/F）。

1.4.3 瘤胃发酵指标

每组选取接近各组平均体重的 6 头犊牛，分别于 42 和 98 日龄晨饲后 2 h，采用灭菌口腔导管采集瘤胃内容物 100 mL，4 层纱布过滤后，立即用便携式 pH 计(testo-206-pH2)测定瘤胃液 pH，然后分装于 10 mL 灭菌离心管中，随即放入液氮，-80 ℃保存待测。瘤胃液中挥发性脂肪酸（VFA）浓度参照 Cao 等[6]方法测定；氨态氮（NH_3-N）浓度采用靛酚比色法[7]测定。

1.4.4 养分表观消化率

消化代谢试验采用内源指示剂收粪法，收集试验 49~55 日龄和 84~90 日龄试验犊牛部分粪便。使用盐酸不溶灰分(AIA)作为指示剂，测定方法参考 GB/T 23742-2009。粪便中的干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分及总能含量的检测参照《饲料分析及饲料质量检测技术》[5]。饲粮养分表观消化率的计算公式如下:

某养分表观消化率(%)=100－100×(饲粮中 AIA 含量/粪便中 AIA 含量)×(粪便中某养分含量/饲粮中某养分含量)。

1.5 统计分析

用 Excel 2007 软件对试验数据进行初步处理，采用数据统计软件 SPSS 19.0 的单因素方差分析（one-way ANOVA）和 Duncan 氏法进行差异显著性分析，P<0.05 为差异显著，0.05<P<0.10 为有显著趋势。

2 结果与分析

2.1 营养复合剂对断奶前后犊牛生长性能的影响

如表 2 所示，与 CON 组犊牛相比，营养复合剂显著提高了 NC 组犊牛 98 日龄体重

（P<0.05）。NC 组犊牛 71~98 日龄、出生~98 日龄阶段的 ADG 均显著高于 CON 组（P<0.05）。NC 组犊牛出生~70 日龄、71~98 日龄、出生~98 日龄阶段干物质采食量和开食料干物质采食量均显著高于 CON 组（P<0.05）。营养复合剂对犊牛各阶段饲料转化效率均无显著影响（P>0.05）。

表 2 营养复合剂对断奶前后犊牛生长性能的影响

Table 2 Effects of nutritional compound on growth performance of pre- and post-weaning calves

项目 Items	组别 Groups		SEM	*P* 值
	CON	NC		*P*-value
体重 Body weight/kg				
出生 Birth	40.48	39.50	0.88	0.588
70 日龄 70 days of age	90.41	92.83	1.01	0.237
98 日龄 98 days of age	116.97^{b}	124.65^{a}	1.65	0.017
平均日增重 ADG/(kg/d)				
出生~70 日龄 Birth to 70 days of age	0.71	0.76	0.01	0.077
71~98 日龄 71 to 98 days of age	0.95^{b}	1.14^{a}	0.03	0.005
出生~98 日龄 Birth to 98 days of age	0.78^{b}	0.87^{a}	0.02	0.003
开食料干物质采食量 Starter DMI/(kg/d)				
出生~70 日龄 Birth to 70 days of age	0.14^{b}	0.20^{a}	0.01	0.039
71~98 日龄 71 to 98 days of age	2.28^{b}	2.53^{a}	0.05	0.014
出生~98 日龄 Birth to 98 days of age	0.75^{b}	0.86^{a}	0.02	0.012
干物质采食量 DMI/(kg/d)				
出生~70 日龄 Birth to 70 days of age	1.04^{b}	1.10^{a}	0.01	0.042
71~98 日龄 71 to 98 days of age	2.51^{b}	2.76^{a}	0.05	0.008
出生~98 日龄 Birth to 98 days of age	1.46^{b}	1.58^{a}	0.02	0.008
饲料转化效率 G/F				
出生~70 日龄 Birth to 70 days of age	0.68	0.69	0.01	0.729
71~98 日龄 71 to 98 days of age	0.38	0.41	0.01	0.164

出生~98 日龄 Birth to 98 days of age	0.53	0.55	0.01	0.333

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

2.2 营养复合剂对断奶前后犊牛瘤胃发酵指标的影响

如表 3 所示，在犊牛 98 日龄，相较于 CON 组，营养复合剂显著降低了 NC 组 pH 和乙酸/丙酸（$P<0.05$），另外 NC 组总挥发性脂肪酸（TVFA）浓度、丙酸占 TVFA 摩尔比均具有升高的趋势（$0.05<P<0.10$），而乙酸占 TVFA 摩尔比具有降低的趋势（$0.05<P<0.10$）。营养复合剂对犊牛 42 日龄时各瘤胃发酵指标均无显著影响（$P>0.05$）。

表 3 营养复合剂对断奶前后犊牛瘤胃发酵指标的影响

Table 3 Effects of nutritional compound on rumen fermentation indexes of pre- and post-weaning calves

项目 Items	组别 Groups		SEM	*P* 值 *P*-value
	CON	NC		
42 日龄 42 days of age				
pH	6.26	6.27	0.14	0.965
氨态氮 NH_3-N/(mg/dL)	5.33	5.46	0.36	0.866
总挥发性脂肪酸 TVFA/(mmol/L)	75.89	79.41	3.89	0.672
摩尔比例 Molecular proportion/%				
乙酸 Acetate	0.63	0.62	0.02	0.788
丙酸 Propionate	0.21	0.21	0.02	0.935
丁酸 Butyrate	0.11	0.11	0.01	0.959
乙酸/丙酸 Acetate/Propionate	3.69	3.34	0.39	0.677
98 日龄 98 days of age				
pH	6.12[a]	5.56[b]	0.10	0.001
氨态氮 NH_3-N/(mg/dL)	4.03	3.39	0.26	0.230

总挥发性脂肪酸 TVFA/(mmol/L)	137.45	164.68	7.54	0.067
摩尔比例 Molecular proportion%				
乙酸 Acetate	0.53	0.49	0.01	0.089
丙酸 Propionate	0.31	0.35	0.01	0.055
丁酸 Butyrate	0.12	0.14	0.02	0.579
乙酸/丙酸 Acetate/Propionate	1.73^{a}	1.38^{b}	0.08	0.016

2.3 营养复合剂对断奶前后犊牛养分表观消化率的影响

如表 4 所示，营养复合剂对断奶前后犊牛各营养物质的表观消化率均无显著影响（*P*>0.05）。

表 4 营养复合剂对断奶前后犊牛养分表观消化率的影响

Table 4 Effects of nutritional compound on nutrient apparent digestibility of pre- and post-weaning calves %

项目 Items	组别 Groups		SEM	*P* 值 *P*-value
	CON	NC		
49~55 日龄 49 to 55 days of age				
干物质 DM	94.88	95.13	1.34	0.935
有机物 OM	95.34	95.75	1.24	0.883
粗蛋白质 CP	92.89	93.04	1.97	0.974
总能 GE	94.31	94.76	1.59	0.898
粗脂肪 EE	84.75	91.26	2.89	0.293
84~90 日龄 84 to 90 days of age				
干物质 DM	82.60	82.23	1.68	0.922
有机物 OM	82.43	82.12	1.73	0.936
粗蛋白质 CP	78.58	80.41	1.74	0.637
总能 GE	81.78	81.98	1.67	0.959
粗脂肪 EE	72.92	79.18	2.99	0.332

3 讨 论

3.1 营养复合剂对断奶前后犊牛生长性能的影响

蛋白质作为动物饲粮中的重要组成成分维持动物生长、生产和繁殖，饲粮中蛋白质不足会严重影响动物消化系统对饲粮中营养物质的利用率，从而导致动物的整体生产力下降[8]。Peng 等[9]研究发现，富含粗蛋白质（17%~19%）的浓缩物补充剂可显著提高断奶犊牛体重和 ADG；云强等[10]也得到相似的结果。蛋白质营养价值的高低主要取决于饲粮中氨基酸组成，尤其是必需氨基酸组成，氨基酸平衡是决定蛋白质品质的关键因素。本试验中 NC 组犊牛在断奶后及试验全期 ADG 均显著高于 CON 组，这可能是由于牛奶喷粉造成氨基酸的极度缺乏[1-2]，抑制了犊牛的生长，导致 CON 组犊牛增重减慢。

饲粮中添加益生菌可加快犊牛胃肠道菌群的建立，促进消化器官发育，从而增加干物质采食，提高日增重。本试验中营养复合剂添加有益生菌，试验全期 NC 组犊牛干物质采食量和开食料干物质采食量均显著高于 CON 组。饲料转化效率是评价饲料报酬的重要指标，本试验中营养复合剂对 NC 组犊牛饲料转化效率未产生显著影响，可能是 NC 组犊牛在整个试验期干物质采食量的显著提高影响了犊牛胃肠道的消化吸收，造成 NC 组犊牛饲料转化效率的短期降低。

3.2 营养复合剂对断奶前后犊牛瘤胃发酵指标的影响

反刍动物瘤胃液中 pH 和 VFA 具有反映瘤胃功能和瘤胃内环境稳定性的重要作用，是瘤胃发酵的重要指标[11]。本试验中，相较于 CON 组，营养复合剂补充了益生菌，显著提高了整个试验期犊牛开食料干物质采食量，而犊牛断奶前开食料干物质采食的增加可降低犊牛断奶前后瘤胃液 pH，为饲粮在瘤胃内的发酵提供合适的内环境[12]。本试验在犊牛在 98 日龄时 NC 组瘤胃液 pH 显著低于 CON 组，且数值处于动物瘤胃液 pH 正常范围（5.5~7.5）[13-14]，说明营养复合剂通过促进犊牛固体饲粮采食量来降低瘤胃液 pH，进而改善瘤胃发酵环境，且并未对犊牛瘤胃发育造成伤害。

VFA 是反刍动物重要的能量来源，吕小康等[15]在羊上研究表明 VFA 可为宿主提供 75%左右的能量；杨春涛等[16]在牛上研究表明 VFA 作为反刍动物瘤胃发酵的重要产物，可为宿主提供 70%~80%的代谢能。Sun 等[11]研究报道，添加纳豆枯草芽孢杆菌可提高奶牛瘤胃液 TVFA 浓度，降低乙酸/丙酸，改善瘤胃发酵类型，通过提高瘤胃发酵能力，增加牛奶中脂

肪、蛋白质和乳糖含量，改善了牛奶成分并提高了牛奶产量。本试验中营养复合剂补充了益生菌，在犊牛 98 日龄时，相较于 CON 组，NC 组乙酸/丙酸显著降低，瘤胃液 TVFA 浓度有增加的趋势，而断奶前阶段，2 组犊牛瘤胃各个发酵指标均无显著差异，这可能是断奶前阶段饲粮主要为液态奶，大量液态奶的摄入不利于瘤胃发育。研究表明，犊牛对固体饲粮采食量的增加可加快瘤胃对饲粮的发酵速率、发酵程度以及对 VFA 的吸收和代谢[17]。结合 2 组犊牛开食料干物质采食量等指标，不难看出 NC 组犊牛在试验全期开食料干物质采食量始终显著高于 CON 组，但断奶前阶段由于采食大量奶液造成 2 组犊牛对开食料的采食量均较低，导致组间瘤胃发酵指标无显著差异。而断奶后固体饲粮成为犊牛全部饲粮，固体饲粮进入到瘤胃，参与瘤胃的生长发育，包括固体饲粮的采食刺激、微生物发酵系统的完善、发酵及吸收机制的协调等一系列过程[12]，采食较高比例的开食料促进了犊牛瘤胃早期发育，使 NC 组犊牛更快适应断奶后固体饲粮环境。Sun 等[11]研究发现，当奶牛终止摄食纳豆芽孢杆菌时，其对 TVFA 浓度等瘤胃发酵指标的影响仍然存在，这也从另一方面说明了本试验中，造成 2 组犊牛断奶后瘤胃发酵指标存在显著差异的原因。

3.3　营养复合剂对断奶前后犊牛养分表观消化率的影响

消化率是衡量饲粮的可消化性和动物的消化能力的重要指标，而益生菌可促进养分消化率的提高。刘辉等[18]研究报道，益生菌可显著提高生长猪对饲粮中粗蛋白质等营养物质的消化吸收。杨春涛等[16]研究报道，饲粮添加酵母菌与桑叶黄酮复合物可提高犊牛断奶后总能表观消化率。另外益生菌可代谢产生有机酸，促进肠道蠕动和消化液分泌，有利于养分的消化吸收[19-20]。Zhang 等[21]研究报道，降低犊牛代乳粉 pH 不影响干物质、粗蛋白质和粗脂肪的表观消化率，但 pH 降至 4.5 对肠上皮生长具有不利影响。此外，酵母本身含有丰富的消化酶可促进肠道对大分子营养物质的消化吸收[22]。国春艳[23]研究发现，酶制剂处理可显著提高 3~7 月龄后备牛的总能表观消化率，但对蛋白质及粗脂肪的表观消化率无显著影响。综上研究，饲粮添加益生菌、酸度调控剂、外源性酶制剂等均可提高动物的养分表观消化率。本试验中营养复合剂补充了益生菌、酸度调控剂、外源性酶制剂等均是有利于提高 NC 组犊牛饲粮养分表观消化率的非营养性饲料添加剂，但本试验结果发现 2 组犊牛在断奶前后阶段各个养分消化率均无显著差异，这可能是由于断奶前犊牛以纯奶粉配制的还原奶为主，养分表观消化率不会产生较大差异，而断奶后犊牛饲粮全部换成开食料，此阶段 NC 组犊牛开食

料干物质采食量显著高于 CON 组，但 NC 组犊牛没有因开食料的大量摄入而降低饲粮的养分表观消化率，这也从侧面说明了营养复合剂可能促进了 NC 组犊牛瘤胃发育，提高了养分表观消化率。关于营养复合剂对断奶前后犊牛饲粮的养分表观消化率是否存在影响还有待进一步研究。

4 结 论

还原奶补充营养复合剂可有效补充和完善牛奶喷粉所缺失的营养成分，增加犊牛干物质采食量，提高增重，并促进犊牛早期瘤胃发育，改善其断奶后瘤胃发酵环境，使犊牛更快适应断奶后固体饲料饲喂方式。

参考文献：

[1] CONTRERAS-CALDERÓN J,GUERRA-HERNÁNDEZ E,GARCÍA-VILLANOVA B.Utility of some indicators related to the Maillard browning reaction during processing of infant formulas[J].Food Chemistry,2009,114(4):1265–1270.

[2] SCHMITZ-SCHUG I,KULOZIK U,FOERST P.Reaction kinetics of lysine loss in a model dairy formulation as related to the physical state[J].Food and Bioprocess Technology,2014,7(3):877–886.

[3] BYRNE C J,FAIR S,ENGLISH A M,et al.Effect of milk replacer and concentrate intake on growth rate,feeding behaviour and systemic metabolite concentrations of pre-weaned bull calves of two dairy breeds[J].Animal,2017,11(9):1531－1538.

[4] FRIETEN D,GERBERT C,KOCH C,et al.*Ad libitum* milk replacer feeding,but not butyrate supplementation,affects growth performance as well as metabolic and endocrine traits in Holstein calves[J].Journal of Dairy Science,2017,100(8):6648–6661.

[5] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].2版.北京:中国农业大学出版社,2003.

[6] CAO Y C,YANG H J.Ruminal digestibility and fermentation characteristics *in vitro* of fenugreek and alfalfa hay combination with or without the inoculation of *Neocallimastix* sp. YAK11[J].Animal Feed Science and Technology,2011,169(1/2):53－60.

[7] VERDOUW H,VAN ECHTELD C J A,DEKKERS E M J.Ammonia determination based on indophenol formation with sodium salicylate[J].Water Research,1978,12(6):399－402.

[8] MUSTAFA A A,TYAGI G,GAUTAM M,et al.Assessment of feeding varying levels of Metabolizable energy and protein on performance of transition Murrah buffaloes[J].Tropical Animal Health and Production,2017,49(8):1637－1644.

[9] PENG Q H,KHAN N A,XUE B,et al.Effect of different levels of protein concentrates supplementation on the growth performance,plasma amino acids profile and *mTOR* cascade genes expression in early-weaned yak calves[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2018,31(2):218－224.

[10] 云强,刁其玉,屠焰,等.开食料中粗蛋白水平对荷斯坦犊牛生长性能和血清生化指标的影响[J].中国畜牧杂志,2011,47(3):49－52.

[11] SUN P,WANG J Q,DENG L F.Effects of *Bacillus subtilis* natto on milk production,rumen fermentation and ruminal microbiome of dairy cows[J].Animal,2013,7(2):216－222.

[12] 马俊南,刁其玉,齐志国,等.不同固液比例饲喂模式对断奶前后犊牛营养物质代谢及瘤胃发酵的影响[J].动物营养学报,2017,29(6):1930–1939.

[13] 杨艳,瞿明仁,欧阳克蕙,等.逐步提高精粗比及其对锦江黄牛瘤胃发酵及酸代谢的影响[J].饲料研究,2013(10):4－8.

[14] 李新,王俊芳,王聪,等.烟酸铬对西门塔尔牛瘤胃液乙酸和丙酸浓度的影响[J].饲料与畜牧,2012(5):8－9.

[15] 吕小康,王杰,王世琴,等.饲粮添加木薯渣对羔羊生长性能、血清指标及瘤胃发酵指标的影响[J].动物营养学报,2017,29(10):3666–3675.

[16] 杨春涛,刁其玉,曲培滨,等.热带假丝酵母菌与桑叶黄酮对犊牛营养物质代谢和瘤胃发酵的影响[J].动物营养学报,2016,28(1):224–234.

[17] VAZQUEZ-ANON M,HEINRICHS A J,ALDRICH J M,et al.Postweaning age effects on rumen fermentation end-products and digesta kinetics in calves weaned at 5 weeks of age[J].Journal of Dairy Science,1993,76(9):2742－2748.

[18] 刘辉,季海峰,王四新,等.益生菌对生长猪生长性能、粪便微生物数量、养分表观消化率和血清免疫指标的影响[J].动物营养学报,2015,27(3):829–837.

[19] HÖGBERG A,LINDBERG JE.The effect of level and type of cereal non-starch

polysaccharides on the performance,nutrient utilization and gut environment of pigs around weaning[J].Animal Feed Science and Technology,2006,127(3/4):200－219.

[20] HENTGES D J.Gut flora and disease resistance[M]//HENTGES D J.Probiotics.Netherlands:Springer,1992:87－110.

[21] ZHANG R,DIAO Q Y,ZHOU Y,et al.Decreasing the pH of milk replacer containing soy flour affects nutrient digestibility,digesta pH,and gastrointestinal development of preweaned calves[J].Journal of Dairy Science,2017,100(1):236–243.

[22] 李路胜.酵母培养物在家禽上的应用[J].饲料工业,2008,29(22):17－19.

[23] 国春艳.木聚糖酶和纤维素酶对后备奶牛生长代谢、瘤胃发酵及微生物区系的影响[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2010.

Effects of Nutritional Compound Added to Reconstructed Milk on Growth Performance, Rumen Fermentation and Nutrient Apparent digestibility of Pre- and Post-Weaning Calves

LI Shuang[1,2] BI Yanliang[1] CHENG Shuru[2] TU Yan[1] ZHANG Weibing[1] DIAO Qiyu[1*]

(1. *Feed Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Key Laboratory of Feed Biotechnology of Ministry of Agriculture*, *Beijing Key Laboratory of Dairy Cow Nutrition*, *Beijing* 100081, *China*; 2. *College of Animal Science and Technology*, *Gansu Agricultural University*, *Lanzhou* 730070, *China*)

Abstract: The aim of this study was to assess the effects of nutritional compound added to reconstructed milk on growth performance, rumen fermentation and nutrient apparent digestibility of pre- and post-weaning calves. Twenty-eight healthy new-born Holstein calves with a similar body weight of（39.99±4.65） kg were allotted into 2 groups with 14 calves each (7 females and 7 males) using a single factor complete random design. This experiment was included 2 phases. In the first phase (birth to 70 days of age), calves in a control (CON) group were offered the milk blended with milk power (reconstructed milk) and starter, those in nutritional compound (NC) group were offered the milk blended with milk power+nutritional compound (10% milk power in the CON group was replaced with the nutritional compound) and starter; in the second phase (71

to 98 days of age), calves in the 2 groups were not offered milk after 1-week weaning transition, and were offered starter only until the end of this experiment. The experiment lasted for 98 days. The results showed as follows: 1) compared with calves in the CON group, average daily gain, dry matter intake, starter dry matter intake of calves in the whole experiment period and body weight of calves at 98 days of age in CN group were significantly increased by nutritional compound (*P*<0.05). 2) At 98 days of age, pH and acetate/propionate in NC group were significantly lower than those in the CON group (*P*<0.05). 3) No significant differences were observed in nutrient apparent digestibility between groups of pre- and post-weaning calves (*P*>0.05). In conclusion, adding nutritional compound into reconstructed milk can increase dry matter intake, body weight gain, and improve rumen fermentation of post-weaning calves, which can help post-weaning calves to more quickly adapt to the feeding pattern with solid diets.

Key words: calves; reconstructed milk; nutritional compound; rumen fermentation; nutrient digestion

*Corresponding author, professor, E-mail： diaoqiyu@caas.cn (责任编辑 陈 鑫)